



TITLE:

不完備情報ゲームにおけるクールノー・モデルの問題点 (量子力学系の数理とその量子コンピュータへの応用)

AUTHOR(S):

大矢, 雅則; 松岡, 隆志

CITATION:

大矢, 雅則 ...[et al]. 不完備情報ゲームにおけるクールノー・モデルの問題点 (量子力学系の数理とその量子コンピュータへの応用). 数理解析研究所講究録 2004, 1350: 53-62

ISSUE DATE:

2004-01

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/25112>

RIGHT:

不完備情報ゲームにおけるクールノー・モデルの問題点

東京理科大学 大矢 雅則 (Masanori Ohya)
 諏訪東京理科大学 松岡 隆志 (Takashi Matsuoka)

1. はじめに

ゲーム理論における古典的なモデルの 1 つにクールノー・モデルがある[1]。このモデルそのものは、ナッシュがその均衡概念を定義する、およそ 100 年ほど前にクールノーによって導入されたもので、そこで考察された均衡解の概念は、ナッシュ均衡と同様のものであった。それ故に、彼の仕事は、ゲーム理論における古典の一つに数えられると同時に、経済的な視点からは産業組織論の礎石の一つにもなりえている。

ところで、ゲーム理論は、ゲームに参加するプレーヤーが個々に有する情報（例えば、個々のプレーヤーの利得関数に関する情報）が、全てのプレーヤーにとって既知であることを前提とする完備情報ゲームと、そうではないケースを扱う不完備情報ゲームの二つに大別される。不完備情報ゲームの場合、不確定な情報は確率変数として扱われ、ナッシュ均衡はベイジアン・スキームの中でベイジアン・ナッシュ均衡として定義される[2]。本稿は、不完備情報ゲームにおけるクールノー・モデルのベイジアン・ナッシュ均衡点を求め、情報の不確定さの度合いとその均衡点から導かれる利得との関連を考察することで、クールノー・モデルの問題点を指摘するものである。

最初に、完備情報ゲームにおけるクールノー・モデルの均衡点の意味とその正当性を簡単に復習し、次に、相手企業の利得関数の中に含まれる限界費用が不確定なケースのクールノー・モデルを不完備情報ゲームとして定式化し、その均衡点を示す[3]。一般に、利得関数に関連した情報の不確定さが減少すれば、利得は増加することが期待されるが、このモデルでは、ある特殊な状況を設定すると、情報の不確定さと利得の関連において、その均衡解の整合的な解釈が困難なケースが生じることを示し、その問題点を議論する。

2. 完備情報ゲームにおけるクールノー・モデルの均衡解

完備情報ゲームのスキームを簡単に復習しよう。いま、 $N = \{1, 2, \dots, n\}$ をプレーヤーの集合、 S_i をプレーヤー i が取りうる戦略の集合、 u_i をプレーヤー i の利得関数 (i.e., $u_i : S_1 \times \dots \times S_n \rightarrow R$ 。ここで、 R は実数の全体。) とするとき、三つ組 $G = (N, \{S_i, u_i\}_{i \in N})$ を “ n 人ゲームの標準型による表現” と呼ぶ。このとき、ゲーム G のナッシュ均衡点は次のように定義される。

定義

戦略の組 $s^* = (s_1^*, \dots, s_n^*) \in S_1 \times \dots \times S_n$ がナッシュ均衡点であるとは、任意のプレーヤー

i において、その利得関数 u_i が、どんな戦略 $s_i \in S_i$ に対しても、次の不等式が成立することである。

$$u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \geq u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \quad (2.1)$$

このとき、全てのプレーヤーは各プレーヤーの利得関数に関して既知であり、また、その状況が全員にとって既知になっている。

それでは、同質の生産物を作る二つの企業（企業1、企業2）の複占市場を考察するクールノー・モデルを完備情報の標準型の表現で表してみよう。企業1、2によって生産される生産物の生産量をそれぞれ、 $q_1, q_2 (\geq 0)$ とすれば、この生産物の市場価格 P は、市場の総供給量 $Q = q_1 + q_2$ の関数として、次のように与えられる。

$$P(Q) = \begin{cases} a - bQ & (bQ < a) \\ 0 & (bQ \geq a) \end{cases}$$

ここで、 a, b は市場の需要に関連した定数で、 $P(Q)$ は需要と供給が一致する価格を表している。本稿では、以下簡単のために $b=1$ とする。また、生産コストは限界費用によってのみ生じ、その単位生産量あたりのコストは両企業ともに等しく、その値を c ($0 < c < a$)として、各企業のコスト関数は $C_i(q_i) = cq_i$ と与えられるとする。このとき、クールノー・モデルの三つ組は、

$$N = \{1, 2\}, S_1 = S_2 = [0, \infty),$$

$$u_i(q_i, q_j) = q_i P(Q) - C_i(q_i) = q_i [a - (q_i + q_j) - c] \quad (i, j \in N, i \neq j)$$

となる。このモデルのナッシュ均衡解 $q^* = \{q_1^*, q_2^*\}$ は、定義より、

$$\max_{q_i \in S_i} q_i [a - (q_i + q_j^*) - c] \quad (2.2)$$

の解であることがわかるから、この最大値問題は、 $q_j^* < a - c$ と仮定したとき、次の一階

の条件が必要十分となる。すなわち、 $q^* = (q_1^*, q_2^*)$ は、次の連立方程式を満たす。

$$\begin{aligned} q_1^* &= \frac{1}{2}(a - q_2^* - c) \\ q_2^* &= \frac{1}{2}(a - q_1^* - c) \end{aligned} \quad (2.3)$$

よって、これを解けば、

$$q_1^* = q_2^* = \frac{a - c}{3} \quad (< a - c)。$$

また、そのときの生産物の価格と利得は、 $Q^* = q_1^* + q_2^*$ として、

$$P(Q^*) = \frac{a + 2c}{3}, u_1(q_1^*, q_2^*) = u_2(q_2^*, q_1^*) = \frac{(a - c)^2}{9}$$

と求まる。

ここで、上記のクールノー・モデルの均衡点の意味を考えてみよう。いま、企業1の独占市場 (i.e., $q_2 = 0$) を考えると、その最適戦略 \hat{q}_1 は、 $\hat{q}_1 = \frac{a-c}{2}$ であり、そのときの価格は $P\left(\frac{a-c}{2}\right) = \frac{a+c}{2}$ 、利得は $u_1\left(\frac{a-c}{2}, 0\right) = \frac{(a-c)^2}{4}$ となる。さて、複占市場におい

ても、市場全体で考えれば、その最適なトータルの生産量を \hat{Q} とすると、 $\hat{Q} = \frac{a-c}{2}$ とな

るので、各企業が $\bar{q}_1 = \bar{q}_2 = \frac{\hat{Q}}{2} = \frac{a-c}{4}$ と生産量を決めれば、市場全体での最大利得を等分に分けあうことができる。しかし、このとき、個々の企業はどうしてもその生産量を増やそうとする誘惑にかられてしまう。何故なら、生産物の価格が $P(\hat{Q}) = \frac{a+c}{2}$ と高い値を

示しているにもかかわらず、各企業の実生産量は $\frac{a-c}{4}$ と少ないので、市場における生産物

の供給量を増やすことによって、多少値崩れを起こしてしまうことがわかっているが、各企業は生産量を増やし、自身の利得を増やそうとするのである。実際、個々の企業におい

て、生産量 $\bar{q}_1 = \bar{q}_2 = \frac{a-c}{4}$ は、そのときの最適生産量となっていないことが、(2.2) 式

よりわかる。さて、各企業がその生産量を増やし、ナッシュ均衡 $q_1^* = q_2^* = \frac{a-c}{3}$ に達した

としよう。このとき、市場全体の生産量は $\frac{2(a-c)}{3}$ と増加し、価格は $P(Q^*) = \frac{a+2c}{3}$ と下

がったために、各企業は、これ以上の価格の下落を誘発することを望まず、また、 q_1^*, q_2^* は

(2.2) 式 (あるいは、(2.3) 式) を満たす最適生産量であるがゆえに、各企業がこの生産量で良しとする均衡状態が生じたと解釈することができる。生産量 (\bar{q}_1, \bar{q}_2) からナッシュ均衡点 (q_1^*, q_2^*) への変化に対応する各企業の利得の変化は、

$$u_i(\bar{q}_i, \bar{q}_j) = \frac{(a-c)^2}{8} > u_i(q_i^*, q_j^*) = \frac{(a-c)^2}{9}$$

と減少してしまうが、以上の議論は、競争下にある複占市場においては、生産量 (\bar{q}_1, \bar{q}_2) は安定な解にはなり得ないことを示している。

このクールノー・モデルは、例えば、独占市場に新規の企業が参入することによって、生産物の価格が下がり、その市場に新しい需要が生じる様子などを、複占市場における適正生産量 (均衡解) の存在を示すことによって説明するのである。

3. 不完備情報ゲームにおけるクールノー・モデルとベイジアン・ナッシュ均衡解

前節のクールノー・モデルでは、両企業ともにそのコスト関数は単位生産量あたりの限界費用 c を用いて $C_i(q_i) = cq_i$ と与えられたが、本節では、企業 1 と企業 2 のコスト関数が異なり、そこに情報の非対称性が存在するケースを考えよう [3]。

企業 1 のコスト関数は、前節同様、 $C_1(q_1) = cq_1$ で与えられるが、企業 2 のコスト関数は確率 θ ($0 \leq \theta \leq 1$) で $C_2(q_2) = c_H q_2$ 、確率 $1 - \theta$ で $C_2(q_2) = c_L q_2$ ($0 < c_L < c_H$) と与えられる。すなわち、企業 2 の限界費用 $c_2 = \{c_L, c_H\}$ は、確率分布 $p(c_2) = \{1 - \theta, \theta\}$ を持つ確率変数である。企業 2 はゲームを開始するに当たり、企業 1 の限界費用 c 、および、自身の限界費用に関しては c_L と c_H のどちらが生じたかを知っているが、企業 1 は、その確率分布 $p(c_2) = \{1 - \theta, \theta\}$ のみを知っているとする。また、以上の状況は、両企業にとって共有知識であるものとする。このモデル設定は、企業 2 が市場に新規に参画してきた場合とか、企業 2 が技術革新によってコスト削減を目指している場合などが対応する。

さて、このモデルにおいても、前節と同様に各企業にとっての最適解（均衡解）が存在すると仮定し、企業 1 の最適解を $q_1^*(c)$ 、 c_L が生じたときの企業 2 の最適解を $q_2^*(c_L)$ 、 c_H が生じたときの企業 2 の最適解を $q_2^*(c_H)$ としよう。このとき、 $q_2^*(c_L)$ 、 $q_2^*(c_H)$ は、それぞれ、

$$\max_{q_2 \in S_2} [a - (q_2 + q_1^*(c)) - c_L], \quad \max_{q_2 \in S_2} [a - (q_2 + q_1^*(c)) - c_H] \quad (3.1)$$

の解として与えられるはずである。また、企業 1 は、企業 2 の限界費用に関して、その確率分布しか知らないのので、確率変数 $c_2 = \{c_L, c_H\}$ に関する期待利得を最大にすることを考え、

$$\max_{q_1 \in S_1} (1 - \theta) [a - (q_1 + q_2^*(c_L)) - c] + \theta [a - (q_1 + q_2^*(c_H)) - c] \quad (3.2)$$

を解いて $q_1^*(c)$ を求めることになる。よって、このときの最大値問題の一階の条件は、

$$\begin{aligned} q_1^*(c) &= \frac{a - c - E_\theta [q_2^*(c_2)]}{2} \\ q_2^*(c_H) &= \frac{1}{2} (a - q_1^*(c) - c_H) \\ q_2^*(c_L) &= \frac{1}{2} (a - q_1^*(c) - c_L) \end{aligned} \quad (3.3)$$

となる。ここで、 $E_\theta [q_2^*(c_2)] = (1 - \theta) q_2^*(c_L) + \theta q_2^*(c_H)$ 。上記の連立方程式を解くと、

$q_1^*(c)$ 、 $q_2^*(c_L)$ 、 $q_2^*(c_H)$ は θ に依存し、よって、これらの最適解を $q_1^*(c; \theta)$ 、 $q_2^*(c_L; \theta)$ 、 $q_2^*(c_H; \theta)$ と書いて、

$$q_1^*(c; \theta) = \frac{a - 2c + E_\theta [c_2]}{3},$$

$$q_2^*(c_L; \theta) = \frac{a - 2c_L + c}{3} - \frac{\theta}{6}(c_H - c_L),$$

$$q_2^*(c_H; \theta) = \frac{a - 2c_H + c}{3} + \frac{1 + \theta}{6}(c_H - c_L)$$

と求まる。

情報の非対称性が存在する上記のクールノー・モデルでは、企業1にとって、企業2の利得関数の中の限界費用という確率変数の情報に不確定さが存在する。一般の不完備情報ゲームは、各プレーヤーが利得関数に関連する確率変数を持っていて、ゲームが始まる際に生じた自分自身の確率変数の値から、他のプレーヤーの確率変数の値に対する信念をベイズの定理を用いて条件付き確率に変更し、利得関数の条件付き期待値を最大化することによって、ベイジアン・ナッシュ均衡が定義される。ここで議論しているモデルは、その特殊なケースと考えることができるが、本稿では、その一般的なスキームの詳細は、以降の議論において、その必要性を特に感じないので割愛する。興味のある読者は文献[2、3、4]などを参照してほしい。

4. 不完備情報ゲームにおけるクールノー・ナッシュ均衡の問題点

前節で求めた不完備情報のベイジアン・ナッシュ均衡を、完備情報ゲームにおけるナッシュ均衡と比較することによって、クールノー・モデルの問題点を明らかにしていこう。

前節では、一般的に、企業1のコスト関数を $C_1(q_1) = cq_1$ と与えたが、以下では、企業1の限界費用が c_L （すなわち、 $C_1(q_1) = c_L q_1$ ）であるケースを考える。この設定によって、我々は、例えば、すでに技術革新によってコスト削減が成功した企業1と、まだコスト削減が達成されておらず、その成功確率が $(1 - \theta)$ と与えられている企業2の二つの企業が存在する復占市場を考えることができる。このとき、企業2がコスト削減に成功したかどうかという情報は、個々の企業の利得にどのような影響を及ぼすだろうか。以下、二つのケースに分けて考察する。

（ケース1： $C_2(q_2) = c_H q_2$ の事象が生じた場合）

最初のケースは、企業2がコスト削減に成功しなかった場合である。もし、企業1が、企業2の限界費用（ $c_2 = c_H$ ）を正しく知ることができて（すなわち、 $\theta = 1$ ）、そのことを企業2も了解できているとすると、このゲームは、それぞれのコスト関数が $C_1(q_1) = c_L q_1$ 、 $C_2(q_2) = c_H q_2$ であるときの完備情報ゲームである。ケース1かつ $\theta = 1$ における企業1の生産量を $q_1^*(c_L)_{\text{case1}}$ とおくと、それぞれの生産量とその大小関係、および、製品の価格は次のように求まる。

$$q_1^*(c_L)_{\text{case1}} = \frac{a - 2c_L + c_H}{3} > q_2^*(c_H) = \frac{a - 2c_H + c_L}{3}$$

$$P(Q_{case1}^*) = \frac{a + c_L + c_H}{3} \quad (Q_{case1}^* = q_1^*(c_L)_{case1} + q_2^*(c_H))$$

以上の値を、それぞれの企業の利得関数に代入すれば、生産量の大小関係から、次の利得に関する不等式が得られる。

$$u_1(q_1^*(c_L)_{case1}, q_2^*(c_H)) > u_2(q_2^*(c_H), q_1^*(c_L)_{case1}) \quad (4.1)$$

(4.1) 式の結果は、コスト削減に成功している企業の優位性を示すものとして、非常に自然な結果と言える。

さて、上記の完備情報ゲームにおける結果を不完備情報ゲームの結果と比較してみよう。生産量については、

$$q_1^*(c_L; \theta) = q_1^*(c_L)_{case1} - \frac{(1-\theta)}{3}(c_H - c_L), \quad q_2^*(c_H; \theta) = q_2^*(c_H) + \frac{(1-\theta)}{6}(c_H - c_L)$$

であるから、任意の θ ($0 < \theta \leq 1$) において、次の不等式が成立する。

$$q_1^*(c_L)_{case1} \geq q_1^*(c_L; \theta) > q_2^*(c_H; \theta) \geq q_2^*(c_H)$$

(等号は、それぞれ $\theta = 1$ のときに成立。)

また、製品の価格は全体の生産量が少なくなる分上昇する。

$$P(Q_{case1}^*) \leq P(Q_{case1; \theta}^*) = P(Q_{case1}^*) + \frac{(1-\theta)}{6}(c_H - c_L)$$

ここで、 $Q_{case1; \theta}^* = q_1^*(c_L; \theta) + q_2^*(c_H; \theta)$ 。このとき、企業 1 と企業 2 の利得の間には、任意の θ ($0 < \theta \leq 1$) において、次の不等式が成立することが、簡単な計算から示せる。

$$u_1(q_1^*(c_L)_{case1}, q_2^*(c_H)) \geq u_1(q_1^*(c_L; \theta), q_2^*(c_H; \theta)) >$$

$$u_2(q_2^*(c_H; \theta), q_1^*(c_L; \theta)) \geq u_2(q_2^*(c_H), q_1^*(c_L)_{case1}) \quad (4.2)$$

(等号は、 $\theta = 1$ のときに成立。)

(4.2) 式の結果は、どのように解釈できるだろうか。企業 2 の限界費用 $c_2 = \{c_L, c_H\}$ は、確率分布 $p(c_2) = \{1-\theta, \theta\}$ を持つ確率変数であるとしたが、実際に、ゲームを始めるときには、企業 2 にとっては確率変数 c_2 の値が c_H であることが明らかになっており、このとき、企業 1 はその事実を知らないために確率分布 $p(c_2) = \{1-\theta, \theta\}$ を用いて期待利得を計算する。すなわち、企業 1 にとって、 θ は情報の確からしさの程度を示す分布である。

このケースでは、企業 1 は、 $c_2 = c_H$ であるという企業 1 にとって有利な情報（すなわち、コスト削減に成功しているという優位性を利用できる情報）を確実に知らないために、相手がコスト削減に成功した可能性も考えて、生産量を若干控えざるを得ないが、逆に、

企業 2 の立場で考えると、自分にとって不利な情報を相手に確実に知られていないという優位性から、相手がその生産量を差し控えるであろうと予測できる分、自身の生産量を本来のものより増やすことができ、よって利得が増加していると考えることができる。この解釈は、企業活動における情報の意味や価値を考えるときに、我々の常識と整合する自然な解釈といえる。ちなみに上のモデルでは、 $u_1(q_1^*(c_L; \theta), q_2^*(c_H; \theta))$ を θ の関数とみれば θ に関して単調増加であり、同様に、 $u_2(q_2^*(c_H; \theta), q_1^*(c_L; \theta))$ は単調減少であることがわかる。すなわち、企業 1 の利得は有利な情報の精度が上がれば利得が増加し ($\theta = 1$ のときが最大)、企業 2 は自分にとって不利な情報が相手に正しく伝わることによってその利得が減少する ($\theta = 1$ のときが最小) のである。

(ケース 2 : $C_2(q_2) = c_L q_2$ の事象が生じた場合)

まず、それぞれのコスト関数が $C_1(q_1) = c_L q_1$ 、 $C_2(q_2) = c_L q_2$ であるとき、 $\theta = 0$ の完備情報ゲームの解 (2 節で求めた解において、 $c = c_L$ とすれば c より) を、ケース 1 の完備情報ゲームにおける解と比較してみよう。ケース 2 かつ $\theta = 0$ における企業 1 の生産量を $q_1^*(c_L)_{case2}$ とすれば、 $q_1^*(c_L)_{case2} = q_2^*(c_L) = \frac{a - c_L}{3}$ (2 節で求めた解において、 $c = c_L$ とすればよい) であるから、次の不等式が示せる。

$$q_1^*(c_L)_{case1} > q_1^*(c_L)_{case2} = q_2^*(c_L) > q_2^*(c_H)$$

$$P(Q_{case1}^*) > P(Q_{case2}^*) \quad (\text{ここで、} Q_{case2}^* = q_1^*(c_L)_{case2} + q_2^*(c_L))$$

$$\begin{aligned} u_1(q_1^*(c_L)_{case1}, q_2^*(c_H)) &> u_1(q_1^*(c_L)_{case2}, q_2^*(c_L)) \\ &= u_2(q_2^*(c_L), q_1^*(c_L)_{case2}) > u_2(q_2^*(c_H), q_1^*(c_L)_{case1}) \quad (4.3) \end{aligned}$$

企業 2 がコスト削減に成功し、その生産量をふやしたことによって、市場全体の生産量が上がって生産物の価格は下がっているが、コスト削減のおかげで企業 2 の利得は増加している。しかし、企業 1 にとっては、市場全体の生産量が増えたにもかかわらず、相手がコスト削減に成功したために、自身の生産量は少なくなり、よって利得も減少している。これは、企業 1、2 がともにコスト削減に成功したことによって、市場全体としては価格の低下と需要の増大という好ましい状態が生じたことを示している。ただし、企業 1 にとっては、自分だけがコスト削減を実現しているという優位性の効果がなくなったことも表している。よって、各企業は、各自の優位性を確保するために、さらに技術革新に精を出すことになり、そのことによって市場は、さらに活性化するのである。

以上、ケース 1 からケース 2 への推移の結果を、完備情報ゲームの枠組みの中だけで考察すると、クールノー・モデルが競争下にある復占市場の構造を非常にうまく説明するモ

デルであることがわかる。

それでは、ケース 1 と同様に、ケース 2 における不完備情報ゲームにおける均衡解をその完備情報ゲームにおける解と比較検討することによって、この場合の情報の非対称性の効果を考えてみよう。

各企業の生産量は、それぞれ、

$$q_1^*(c_L; \theta) = q_1^*(c_L)_{case2} + \frac{\theta}{3}(c_H - c_L), \quad q_2^*(c_L; \theta) = q_2^*(c_L) - \frac{\theta}{6}(c_H - c_L)$$

であるから、任意の θ ($0 \leq \theta < 1$) に対して、次の不等式が成立する。

$$q_1^*(c_L; \theta) \geq q_1^*(c_L)_{case2} = q_2^*(c_L) \geq q_2^*(c_L; \theta)$$

(上記の不等式の等号は、それぞれ $\theta = 0$ で成立。)

よって、価格、および利得関数についても、任意の θ ($0 \leq \theta < 1$) に対して、次の不等式が成立することが簡単な計算から示せる。

$$P(Q_{case2}^*) \geq P(Q_{case2; \theta}^*) = P(Q_{case2}^*) - \frac{\theta}{6}(c_H - c_L)$$

(ここで、 $Q_{case2; \theta}^* = q_1^*(c_L)_{case2} + q_2^*(c_L)$ 。)

$$\begin{aligned} u_1(q_1^*(c_L; \theta), q_2^*(c_L; \theta)) &\geq u_1(q_1^*(c_L)_{case2}, q_2^*(c_L)) \\ &= u_2(q_2^*(c_L), q_1^*(c_L)_{case2}) \geq u_2(q_2^*(c_L; \theta), q_1^*(c_L; \theta)) \end{aligned} \quad (4.4)$$

(上記の不等式の等号は、それぞれ $\theta = 0$ で成立。)

ケース 1 と異なり、企業 1 にとって、 $c_2 = c_L$ という情報は、相手がコスト削減に成功したという事実が明らかになれば、企業 1 は先にコスト削減に成功したという優位性を放棄せざるを得ない、という意味において、好ましくない情報（受け入れたくない情報）といえる。このとき、(4.4) 式が示す結果は、企業 1 は、自分にとってその好ましくない情報を確実に知らないですむが故に、多くの利得を得ることができているように解釈できる。しかし、企業 2 にしてみれば、コスト削減に成功したという自分にとって好ましい状況が生じ、かつその情報を確実に知るのは自分だけという明らかに優位な立場であるにもかかわらず、その優位性が全くいかされていないということになる。本来であれば、企業 2 は、相手にとって不利な情報を自分だけが知っているという立場を利用して、より多くの利得が得られる戦略を選ぶことができるはずである。

ところで、我々は、企業 1 のナッシュ均衡解 $q_1^*(c_L; \theta)$ を、(ケース 1) においては、 $q_1^*(c_L)_{case1}$ を用いて $q_1^*(c_L; \theta) = q_1^*(c_L)_{case1} - \frac{(1-\theta)}{3}(c_H - c_L)$ と表し、(ケース 2) において

は、 $q_1^*(c_L)_{case2}$ を用いて $q_1^*(c_L; \theta) = q_1^*(c_L)_{case2} + \frac{\theta}{3}(c_H - c_L)$ と表したが、いずれのケースにおいても、企業 1 のとる戦略は $q_1^*(c_L; \theta)$ の一通りである。すなわち、企業 2 のどちらのコスト関数が生じるかによって、 $q_1^*(c_L; \theta)$ の評価は分かれてしまう。この状況を、企業 1 はどのように了解するだろうか。企業 1 は、企業 2 がコスト削減に成功している可能性を 0 にできないので、成功していないときの生産量 $q_1^*(c_L)_{case1}$ より少ない生産量を取り、逆にコスト削減に成功していない可能性もまた 0 ではないので、成功したときの生産量 $q_1^*(c_L)_{case2}$ より若干多めに設定しようと考えて $q_1^*(c_L; \theta)$ を採用すると考えることはできる。すなわち、損をするかもしれないが得をする可能性もある $q_1^*(c_L; \theta)$ を採用しようというのである。たとえ、企業 1 がこのような考え方で、この均衡解を了解できたとしても、前述したように、ケース 2 が生じた場合、企業 2 は到底この均衡点を受け入れるとは思えない。現実的な状況を考えれば、不完備情報のクールノー・モデルにおけるナッシュ均衡点を均衡点と考えるのは無理があるように思えるのである。すなわち、不完備情報ゲームの枠組みの中では、クールノー・モデルの均衡点は整合的な解釈を持ちえていない。これが、我々が、この論文で指摘したいクールノー・モデルの問題点である。

5. 考察

一般に、競争下の複占ゲームにおける情報の価値は次のようなものとして、我々は了解できるはずである。

- (a) 自分にとって有益な情報を正確に知ることによって、利得を増加させることができる。
 \Rightarrow 相手にとって有益な情報を自分だけが正確に知ることによって、利得の損失を抑えることができる。
- (b) 自分にとって不利な情報を正確に知ることによって、利得の損失を抑えることができる。
 \Rightarrow 相手にとって不利な情報を自分だけが正確に知ることによって、利得を増加させることができる。

このとき、クールノー・ナッシュ均衡の組 $(q_1^*(c_L; \theta), q_2^*(c_H; \theta))$ は、(ケース 1) を (a) と整合的に説明するのに対し、組 $(q_1^*(c_L; \theta), q_2^*(c_L; \theta))$ は、(ケース 2) を (b) の解釈のもとで説明することには成功していない。

もし、情報の価値に関する上の解釈が、競争下にある実際の企業の利益と情報の関連を説明するものとして、多くのケースに当てはまるとすれば、ケース 1、ケース 2 のいずれにおいても、企業 1 の戦略 $q_1^*(c_L; \theta)$ は、例えば、 θ の関数 $f(\theta)$, $g(\theta)$ を用いて

$$q_1^*(c_L; \theta) = q_1^*(c_L)_{case1} + f(\theta) = q_1^*(c_L)_{case2} + g(\theta)$$

(ただし、任意の θ ($0 < \theta < 1$) に対して、 $f(\theta) < 0$, $g(\theta) < 0$)

あるいは、

$$q_1^*(c_L; \theta) = q_1^*(c_L)_{case1} \times f(\theta) = q_1^*(c_L)_{case2} \times g(\theta)$$

(ただし、任意の θ ($0 < \theta < 1$) に対して、 $0 < f(\theta) < 1$, $0 < g(\theta) < 1$)
と書いてしかるべきであろう。このとき、 $f(\theta)$, $g(\theta)$ は情報の不確定さの度合いと利得の増減として評価される情報の価値を整合的に関連付ける変量と考えることができる。

今回取り上げたモデルとは別に、細江により提案された市場の需要が不確定なケースにおける複占市場下のクールノー・モデル [5] においても、需要情報を確実に知らないがゆえに利得が増加するといった結果が存在する。著者たちは、その細江のモデルにおいて需要情報の不確定さの度合いを情報量 (エントロピー) で表し、利得の変化と情報獲得の関連を解析することによって、一応の整合的な解釈を得ることができることを示した [6] が、クールノー・モデルそのものを再検討することで、不完備情報ゲームにおける情報の価値をより現実的な状況に即した形で解析出来るものと考えている。

参考文献：

1. A.Cournot, "Recherches sur les Principes Mathematiques de la Theorie des Richesses", 1838. (中山伊知郎訳 "富の理論の数学的原理に関する研究", 岩波文庫、1936)
2. J.Harsanyi, "Games with Incomplete Information Played by Bayesian Players, Part I, II and III", Management Science 14, pp.159-182, 320-334, 486-502, 1967.
3. Robeort Gibbons, "Game Theory for Applied Economics", Princeton University Press, 1992.
4. 岡田 章, "ゲーム理論", 有斐閣、1996.
5. 細江守紀, "寡占市場における情報獲得と情報シェアリング", 経済学研究 (九州大学)、第 53 巻 第 1-21 号、pp.1-29、1984.
6. 大矢雅則、松岡隆志, "複占市場における情報獲得と相互エントロピー", 数理解析研究所講究録、1013、pp.28-40、1997.